

基于 NSCT 和 DWT 的鲁棒数字水印算法

刘晶¹, 刘刚², 何文娟¹

(1. 西安理工大学计算机科学与工程学院, 西安 710048; 2. 西安电子科技大学计算机学院, 西安 710071)

摘要: 针对现有水印算法难以有效对抗几何攻击的问题, 提出一种基于非采样 Contourlet 变换(NSCT)的水印新算法。利用 NSCT 得到显著方向子带, 对该子带系数进行二值化, 获得图像边缘方向信息点集。在水印检测时, 利用边缘方向的特征点集, 可使受到几何攻击的水印化图像恢复到原来的大小和位置, 即恢复已丢失的同步信息。实验结果表明, 该方法对几何攻击具有很好的鲁棒性。

关键词: 非采样 Contourlet 变换; 数字水印; 二值化

Robust Digital Watermark Algorithm Based on NSCT and DWT

LIU Jing¹, LIU Gang², HE Wen-juan¹

(1. Faculty of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048;

2. School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071)

【Abstract】 Aiming at the geometric attack problem of the digital watermark, a novel algorithm is proposed based on the NonsubSampled Contourlet Transform(NSCT). Feature points are extracted by utilizing the characteristic of image from the greatly directional bandpass coefficients of the NSCT processed by binary. When watermark is detected, the feature points matching measure for the geometric manipulation is computed. The method can transform the image back to its original size/orientation, i.e., recover the lost synchronism. Experimental results show that it is robust to geometric attacks and other most common image processing manipulations.

【Key words】 NonsubSampled Contourlet Transform(NSCT); digital watermark; binary processing

1 概述

几何攻击指测试图像在空间域的位置受到改变, 失去数字水印分量的同步信息, 导致检测器找不到水印。目前, 抗几何攻击的数字图像水印的算法主要在变换域进行。算法在变换域中获取图像某些重要特征, 利用这些特征记录水印嵌入位置, 并在每个特征点对应的区域内独立地嵌入水印, 在检测时仍然利用这些特征来定位和检测水印。为有效抵抗图像常规处理及几何攻击, 提取的图像特征应具有对抗噪声、抗图像处理及抗几何变形等特点。

文献[1]提出一种基于 DCT 获取图像特征的水印算法, 在此基础上, 出现了一系列基于 DCT 的数字水印嵌入算法。由于 DCT 水印方法无法做到对图像内容的自适应, 嵌入水印常使载体图像的亮度等特征受到明显损害, 透明性较差。DFT^[2]方法是利用图像的 DFT 嵌入水印信息。此类方法的优点在于频域幅值对旋转、比例缩放、平移(RST)操作具有不变性, 所嵌入的水印能抵抗图像的 RST 操作, 但是 DFT 方法在水印算法中的抗压缩的能力比较弱。文献[3]提出一种基于小波变换(DWT)获取图像特征、分层嵌入水印的算法。作为图像的一种多尺度分析工具, DWT 已在图像水印技术中得到很多应用。但 DWT 变换是将尺度与方向分解同时进行, 每层变换的方向分解数固定, 且近似子图中仍含有很多高频信息, 因此, 在小波域中嵌入水印信息较易出现方块效应。本文提出一种基于非采样 Contourlet 变换(NonsubSampled Contourlet Transform, NSCT)和 DWT 联合变换的图像水印算法。由非采样 Contourlet 变换将图像分解为低频子带和一组高频子带, 低频子带进行 DWT, 嵌入水印; 高频子带通过

二值化处理得到具有显著方向信息的像素集, 利用这些像素集, 估计测试图像所受到几何攻击的参数。

2 非采样 Contourlet 变换

Contourlet 变换^[4]继承了小波变换的多分辨力的时频分析特性, 而且拥有良好的各向异性特征, 能用比小波更少的系数来表示光滑的曲线, 但它缺乏平移不变性。因此, 文献[5]提出一种具有平移不变性的 Contourlet 变换——非采样 Contourlet 变换, 其流程如图 1 所示。

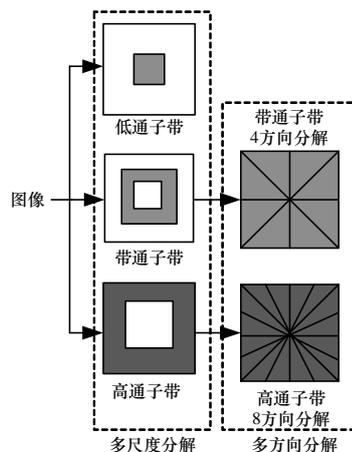


图1 非采样 Contourlet 变换流程

作者简介: 刘晶(1973-), 女, 硕士, 主研方向: 图像处理, 数字水印; 刘刚, 副教授、博士; 何文娟, 讲师

收稿日期: 2008-11-24 **E-mail:** liujing@xaut.edu.cn

与 Contourlet 变换类似,非采样 Contourlet 变换也是将多尺度分解和方向分解分开进行。采用非采样塔式滤波器组(NonsubSampled Pyramid Filter Bank, NSPFB)对输入图像进行多尺度分析捕获点奇异性。对低频子带继续使用 NSPFB 变换进行迭代分解,便可将原始图像分解为一系列不同尺度上的低频和高频子带。对分解所得到的高频子带使用非采样方向滤波器组(NonsubSampled Directional Filter Bank, NSDFB)进行方向性分析。NSDFB 的作用是捕获图像的方向性高频信息,将分布在同方向上的奇异点合成为一个系数,从而得到不同尺度、方向子带图像(系数)。

本文运用非采样 Contourlet 变换,将图像进行 4 级非采样 NSPFB 分解,对低频子带再进行 4 级 DWT 变换,然后在小波域的低频区嵌入水印。水印嵌入效果对比如图 2 所示。



图 2 水印嵌入效果对比

实验证明,与直接在小波域低频区嵌入同强度水印相比,前者有更好的不可见性。对非采样 contourlet 变换得到的高频子带,通过二值化处理提取图像边缘上强方向信息的像素,这些像素并非水印信息的嵌入区域,而是在水印检测过程中,用来估计测试图像所受到的几何攻击。对显著方向子带二值化提取具有大值的方向系数对应的像素结果见图 3。



图 3 二值化后的子带图像对比

在提取水印过程中,对 2 个二值图的部分区域进行配准,可以较容易地估计出测试图像所受到几何攻击的参数,利用这些参数再对测试图像进行几何反变换,从而恢复失去的同步信息,达到抗几何攻击目的。

3 数字水印的嵌入及提取

3.1 水印的嵌入

水印嵌入过程如图 4 所示。

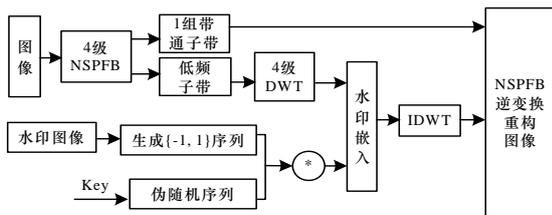


图 4 水印嵌入过程

具体描述如下:假设长为 M 的二值水印序列定义为 $m = \{b_i | b_i \in \{0, 1\}\}, i = 1, 2, \dots, M$, 设 $m' = \{b'_i | b'_i = 1 - 2b_i, i = 1, 2, \dots, M\}$,

则 m' 为值为 $\{-1, 1\}$ 的二值极序列。伪随机噪声 PN(Pseudo-random Noise)矩阵集定义为

$$P = \{p_{i,j}(k) | k = 1, 2, \dots, M\}$$

其中, $p_{i,j}(k)$ 是由密钥 Key 生成的值为 $\{-1, 1\}$ 的二值伪随机序列,其均值为 0,大小与待嵌入水印的图像块的大小相同。

水印二值极序列与二值伪随机序列进行如下运算:

$$\omega = P \times m' = \sum_{k=1}^M p_{i,j}(k) b'_k \quad (1)$$

原始图像先进行 4 级 NSPFB 多尺度分解,对第 4 级的低频子带进行 4 级离散小波变换,将加密处理后的水印信息嵌入小波域的近似(低频)系数中:

$$\bar{v}_{i,j} = v_{i,j} + \alpha \times \omega_{i,j} \quad (2)$$

其中, α 是权重因子,本文取 100。对加入水印信息的低频系数与各细节子带系数进行 IDWT 变换得到 NSPFB 域的低频子带,再和各带通子图进行逆 NSPFB 变换得到水印化的图像。

3.2 水印的提取

(1)对原始图像、测试图像都进行 4 级 NSCT 分解。如测试图像未受到几何攻击,则 2 幅图像进行 4 级 NSPFB 分解,无须步骤(2)~步骤(4)。

(2)对第 4 级的子带图像进行 2 方向 NSDFB 分解。

(3)对显著的方向子带进行二值化,2 个二值图进行配准,估计测试图像受到几何攻击的参数。

(4)利用步骤(3)得到的参数对测试图像的低频子带图像进行校正。

(5)对低频子带图像进行 4 级 DWT 分解。

(6)比较 DWT 域中的低频系数,若原始图像的低频系数幅值大,则携带的水印信息位值为 -1;若测试图像的低频系数幅值大,则水印信息位值为 1。

(7)由密钥 Key 生成值为 $\{-1, 1\}$ 的二值伪随机序列,对步骤(6)得到信息解密从而获得水印的二值信息。

4 仿真实验

为验证算法的有效性,实验采用 DWT 进行算法比较,通过大小为 512×512 的 lena 灰度图像进行各种测试,水印信息图像为 32×32 的二值图像。嵌入水印图像质量的客观评价采用峰值信噪比 PSNR 来度量,水印检测结果的客观评价采用相关系数 ρ 来衡量。仿真实验结果如图 5 所示。



图 5 仿真实验结果

图 5(c)的 PSNR 为 88.190,图 5(d)的 PSNR 为 98.789。可以看出,水印嵌入原始图像后(嵌入强度 α 为 50),2 种方法都有良好的不可见性,但本文方法的 PSNR 要高些,并且随着嵌入强度增大,DWT 方法的隐蔽性也不及本文方法。

为验证算法的稳健性,对含水印的图像,进行各种攻击测试。各项实验测得的相关系数见表 1。可以看出,本文算法的鲁棒性明显优于单纯的 DWT 方法。

表 1 各种攻击下的水印检测结果

| 各类攻击 | 检测结果 ρ | |
|-------------------------|-------------|---------|
| | DWT 算法 | 本文算法 |
| 椒盐噪声 0.01 | 0.756 9 | 0.857 8 |
| 脉冲噪声 0.01 | 0.523 4 | 0.798 5 |
| 高斯滤波 3×3 | 0.879 8 | 0.895 6 |
| JPEG 压缩 80% | 0.912 1 | 0.946 7 |
| JPEG 压缩 60% | 0.879 5 | 0.901 1 |
| JPEG 压缩 40% | 0.867 4 | 0.889 6 |
| 旋转 0.6° | 0.967 8 | 0.972 4 |
| 旋转 1.8° | 0.874 5 | 0.885 6 |
| 旋转 10° | 0.371 3 | 0.653 4 |
| 旋转 20° | 0.343 6 | 0.532 3 |
| 缩放 0.6 | 0.907 2 | 0.912 3 |
| 缩放 0.8 | 0.835 6 | 0.878 4 |
| 缩放 1.3 | 0.789 3 | 0.832 5 |
| 缩放 3.5 | 0.769 8 | 0.790 1 |
| 随机去除 3 行 \times 15 列 | 0.914 3 | 0.946 6 |
| 随机去除 15 行 \times 3 列 | 0.892 8 | 0.901 6 |
| 随机去除 10 行 \times 10 列 | 0.934 2 | 0.960 9 |
| 随机去除 15 行 \times 15 列 | 0.867 4 | 0.909 1 |
| 剪切 10% | 0.965 7 | 0.997 1 |

5 结束语

本文提出一种基于对载体图像进行 NSCT 和 DWT 联合变换, 由图像显著方向子带的二值图来估计测试图像受到几何攻击的水印算法, 其主要特点包括:

- (1) 水印在小波的低频区域嵌入, 与直接 DWT 方法比较, 嵌入强度可提高 1 倍。
- (2) 图像经过几何变换后, 图像边缘的方向信息保持不变。用显著方向子带来估计测试图像受到的几何攻击。

(3) 对方向子带图进行二值化, 用二值图来配准图像, 可以减少计算量, 降低算法时间复杂度。

(4) 算法将定位与嵌入分开进行。用方向子图来估计测试图像受到几何攻击的参数, 水印嵌入则在低频子带进行。

实验表明本文方法在保证水印不可见性的前提下, 对图像的各种攻击都有很强的鲁棒性。

参考文献

- [1] Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [2] Ruanaith J K O, Dowling W J, Boland F M. Phase Watermarking of Digital Image[C]//Proc. of ICIP'96. Piscataway, USA: IEEE Press, 1996.
- [3] Xia Xianggen, Boncelet C G, Arce G R. A Multiresolution Watermark for Digital Images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, 1998, 45(8): 1097-1101.
- [4] Do M N, Vetterli M. Contourlets: A Directional Multiresolution Image Representation[C]//Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. Urbana, USA: [s. n.], 2002.
- [5] Cunha A L, Zhou Jianping, Do M N. The Nonsubsample Contourlet Transform: Theory, Design, and Applications[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(10): 3089-3101.

编辑 顾姣健

(上接第 121 页)

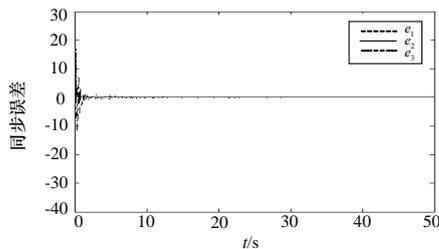


图 2 Lü 混沌系统同步误差曲线

图 3 是当信息信号为 $m(t) = \sin(t/5)$, $n = 30$, $q = 90$ 时信息信号 $m(t)$ 和恢复信号 $m'(t)$, 可见, 在较短的时间内, 解调信号 $m'(t)$ 很快逼近了信息信号 $m(t)$, 实现信号的有效恢复。

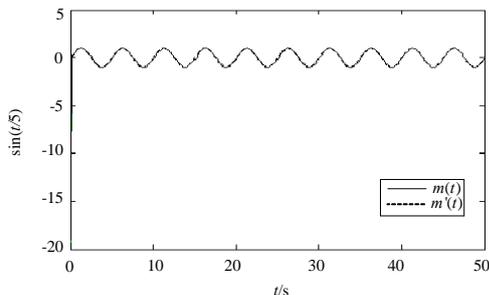


图 3 信息信号 $m(t)$ 和恢复信号 $m'(t)$

5 结束语

本文基于参数调制技术与自适应控制律, 实现一类混沌系统的自适应保密通信。利用参数调制技术, 将信息信号调制发送端; 通过构造自适应律与控制器, 设计一种参数自适应混沌系统, 从而实现混沌系统的同步。通过接收端的非线性滤波器, 使信息信号有效地调解。该控制器设计简单, 保密性良好, 在工程上易于实现。

参考文献

- [1] Peccora L M, Carroll T L. Synchronization in Chaotic System[J]. Phys. Rev. Lett., 1990, 64(8): 821-824.
- [2] 盛苏英, 陆国平, 吴新华. 混沌协议同步技术研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(11): 163-165.
- [3] Wang Yanwu, Guan Zhihong, Wen Xiaojiang. Adaptive Synchronization for Chen Chaotic System with Fully Unknown Parameters[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2004, 19(4): 899-903.
- [4] Yu Yongguang, Zhang Suochun. Adaptive Backstepping Synchronization of Uncertain Chaotic System[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2004, 21(3): 643-649.
- [5] 刘年生, 郭东辉. 基于混沌加密的一种图像信息隐藏传送方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(7): 135-137.

编辑 金胡考